

DETEKSI PERNAPASAN MANUSIA MENGGUNAKAN RADAR FMCW 24 GHZ UNTUK MULTITARGET DALAM LINEAR DAN NON-LINEAR

Queen Hesti Ramadhany^{1*}, Aditya Rifky Ramadhan², Marita Fauziah³

¹Universitas Andalass, Padang, Indonesia

²Telkom University, Bandung, Indonesia

³Huawei Technologies Co., Ltd, Jakarta, Indonesia

Keywords:

Breathing;
FMCW Radar;
IoT;
Multitarget.

Correspondent Email:

queenhesti@eng.unand.ac.id

Abstrak. Deteksi pernapasan manusia secara nirsentuh sangat dibutuhkan di bidang medis, terutama selama kondisi seperti COVID-19, untuk meminimalkan risiko yang ditimbulkan saat bersentuhan dengan pasien yang memiliki penyakit menular. Salah satu teknologi yang dapat memenuhi kebutuhan ini adalah sistem radar. Pada penelitian ini, radar yang digunakan adalah *Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW), yang dapat mendeteksi banyak target dan gelombang mm dengan sensitivitas tinggi. Penelitian ini memiliki dua model skenario. Skenario pertama adalah dimana target diposisikan tepat di depan radar, dan skenario kedua adalah dimana terdapat penghalang di depan radar dan target berada di belakang penghalang. Sistem radar yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan untuk membedakan target yang terdeteksi. Filter yang digunakan pada penelitian ini adalah *Band-pass Filter* (BPF). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem radar dapat membedakan target yang terdeteksi dan respirasi, baik pada kondisi *line-of-sight* dengan banyak target maupun kondisi *non-line-of-sight*, meskipun terjadi pelemahan sinyal.



Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstract. In the medical field, contactless detection of human respiration is necessary, especially during conditions such as COVID-19, to minimize the risks posed when in contact with patients who have infectious diseases. One technology to fulfill this need is a radar system. In this study, the radar used is *Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW), which can detect multiple targets and mm waves with high sensitivity. This study has two scenario models. The first scenario was where the target was positioned directly in front of the radar, and the second scenario was where there was a barrier in front of the radar and the target was behind the barrier. In the workflow of this radar system used for this research, the goal is to distinguish the detected target. The filter used in this research is a *Band-pass Filter* (BPF). The results of this study show that the radar system can distinguish the detected targets and respiration, both in *line-of-sight* conditions with multiple targets and *non-line-of-sight* conditions, despite signal attenuation.

1. PENDAHULUAN

Deteksi pernapasan manusia adalah salah satu hal penting yang digunakan oleh dunia medis untuk mengetahui kondisi pasien [1]. Sistem pemantauan kesehatan yang efisien dan aman menjadi sangat penting seiring dengan

meningkatnya kebutuhan akan hal ini. Untuk itu, teknologi berbasis komunikasi nirsentuh mengalami perkembangan yang signifikan di era setelah COVID-19.

Secara tradisional, untuk mengetahui pernafasan manusia, dapat digunakan sabuk

pernafasan atau sensor yang biasa digunakan di dunia medis [2], [14]. Namun, alat ini perlu bersentuhan langsung dengan target, sehingga jika digunakan untuk penyakit menular akan menimbulkan masalah lain, seperti penyebaran virus. Oleh karena itu, dibutuhkan teknologi berbasis contactless untuk membantu dalam memonitoring pasien dari jarak jauh. Teknologi ini telah mendorong banyak peneliti untuk mengembangkan teknologi yang dapat mengamati aktivitas tanpa mengganggu kenyamanan dan keamanan pasien atau pekerja. Salah satu teknologi contactless dalam bidang medis adalah radar.

Teknologi radar tidak hanya digunakan di dunia medis tetapi juga di dunia militer [3] dan operasi pencarian korban pasca bencana [4]. Radar merupakan teknologi tanpa kontak yang mengirimkan gelombang elektromagnetik dan diterima kembali oleh antena, yang kemudian akan diproses untuk mendapatkan informasi. Berbagai spesifikasi dalam teknologi radar yang digunakan dunia medis. Salah satunya adalah sensitivitas radar. Prinsip kerja ini dapat mendeteksi gerakan mikro seperti naik turunnya dada akibat aktivitas pernafasan manusia, bahkan tanpa kontak langsung dengan target [15].

Dalam bidang medis, jenis radar berkembang dengan spesifikasi yang disesuaikan dengan kebutuhan pendeteksian pernafasan manusia. Beberapa jenis radar yang dikembangkan oleh banyak peneliti untuk deteksi respirasi manusia antara lain adalah radar *continuous wave* (CW) [2], [12], radar *ultra-wideband* (UWB) [5], radar *Multifrequency continuous wave* (MFCW) [13], radar *stepped frequency continuous wave* (SFCW) [3], [6], dan radar *frequency continuous wave* [4], [7], [8], [9].

Setiap jenis radar memiliki kelebihan dan keterbatasan. Radar CW adalah salah satu radar yang sensitif, tetapi tidak dapat mendeteksi banyak target dan kurang sensitif jika mendeteksi target di balik reruntuhan. Sementara radar UWB sangat sensitif, arsitekturnya terlalu rumit dan memiliki batasan dalam penggunaan secara luas. Adapun radar SFCW dan FMCW, keduanya memiliki sensitivitas yang tinggi, dapat mendeteksi banyak target, dan memiliki arsitektur yang tidak terlalu rumit. Namun, keunggulan FMCW dibandingkan SFCW adalah penggunaan pita

frekuensi yang lebih banyak yaitu mm, yang membuat radar ini lebih sensitif untuk bidang medis, terutama dalam mendeteksi pernafasan manusia [6], [8].

Penelitian ini menggunakan eksperimen laboratorium untuk mendeteksi pernafasan manusia dengan menggunakan sistem radar FMCW. Radar yang diusulkan pada penelitian ini adalah radar FMCW dengan bandwidth 24 GHz. Terdapat dua skenario dalam percobaan ini. Skenario pertama melibatkan dua orang yang berada di depan radar secara langsung tanpa penghalang. Sebaliknya, skenario kedua memiliki penghalang di depan radar dengan satu orang target di belakang penghalang. Pada penelitian sebelumnya [4] [7], penggunaan filter yang digunakan adalah *Low-pass Filter* (LPF), sedangkan pada penelitian ini filter yang digunakan adalah *Band-pass Filter* (BPF). Penelitian ini akan membantu menambah sumber penelitian tentang penggunaan teknologi radar dalam bidang kesehatan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Radar adalah sebuah sistem yang memancarkan sinyal elektromagnetik secara terus menerus dengan frekuensi yang berubah secara bertahap dalam rentang tertentu, yang juga dikenal sebagai sweep bandwidth [11]. Rumus dasar dari sebuah sistem radar terdapat pada (1) [11]. Salah satu radar yang digunakan dalam bidang medis adalah radar FMCW [11]. Sistem radar yang digunakan pada radar FMCW memiliki bentuk sinyal yang berbentuk chirp dimana modulasi frekuensi (FM) yang digunakan meningkatkan frekuensi sinyal secara terus menerus dengan menggunakan sinyal sinusoidal. Sinyal yang dihasilkan oleh radar FMCW terdapat pada (2) dan (3) [10].

Beberapa penelitian sebelumnya [4], [7], [10] telah menunjukkan bahwa radar FMCW dapat mendeteksi gerakan kecil yang disebabkan oleh aktivitas respirasi manusia dengan melihat pergerakan dinding dada dan perut. Pergerakan ini membutuhkan teknologi yang sensitif terhadap pergerakan kecil dan dengan demikian membutuhkan bandwidth yang tinggi. Namun, kekurangannya adalah sulit dan kompleks. Untuk mengatasi masalah ini, sebuah pendekatan yang didasarkan pada deteksi perubahan fase menggunakan Transformasi Fourier untuk mendeteksi

pernapasan manusia, baik multi-target maupun di belakang penghalang.

$$P_r = \frac{P_t G_t \sigma A}{(4\pi)^2 (R)^4} \quad (1)$$

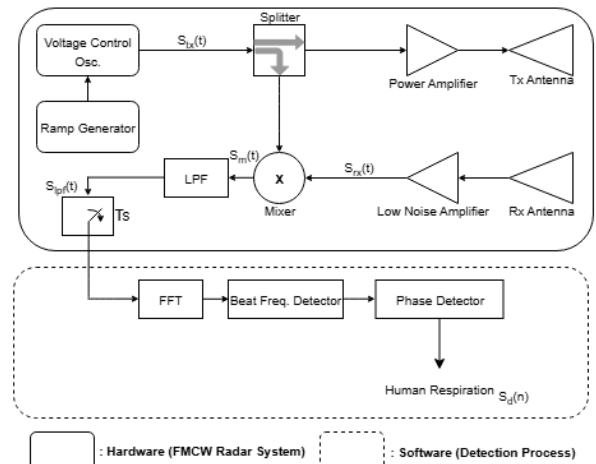
$$S_t = A_t \cos \left(\left(2\pi f_0 + 2\pi \frac{\Delta_f t}{T_c} \right) t \right) \quad (2)$$

$$S_r = A_r \cos \left(\left(2\pi f_0 + 2\pi \frac{\Delta_f t}{T_c} \right) (t - \tau_0) \right) + A_t \cos \left(\left(2\pi f_0 + 2\pi \frac{\Delta_f t}{T_c} \right) (t - \tau_0(t)) \right) \quad (3)$$

3. METODE PENELITIAN

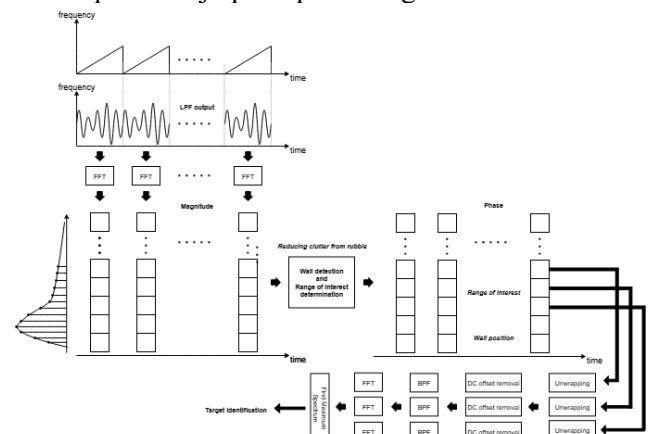
Sistem radar yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem radar ini terdiri dari dua bagian, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Pada bagian perangkat keras terdapat chip pembangkit sinyal, *splitter*, *low noise amplifier* (LNA), antenna pemancar (TX Antenna), antenna penerima (RX Antenna), mixer, dan filter yang disini digunakan sebagai LPF. Sistem kerja yang digunakan oleh radar FMCW adalah sinyal chirp dipancarkan melalui Antena TX sehingga mengenai target, kemudian sinyal tersebut dipantulkan dan diterima oleh Antena RX. Kemudian, sinyal yang diterima dikurangi noise pada LNA, dikalikan dalam mixer, dan disaring lagi oleh blok LPF untuk mengurangi frekuensi tinggi yang tidak diinginkan.

Perangkat lunak berisi *Fast Fourier Transform* (FFT), detektor frekuensi denyut, dan detektor fase. Pada tahap ini, metode yang diusulkan digabungkan dengan konsep *Region of Interest* (ROI) dan FFT dua langkah. Pada Gambar 2, perangkat keras melakukan tahap digitalisasi sinyal LPF dengan melalui proses sampling yang ditentukan berdasarkan jangkauan sistem radar yang digunakan. Langkah selanjutnya adalah menghitung FFT untuk mendapatkan sinyal beat frequency yang berisi informasi posisi target terhadap satu sama lain.



Gambar 1. Sistem radar FMCW untuk mendeteksi respirasi manusia

Keluaran LPF dalam penelitian ini menghasilkan respons magnitudo dalam domain frekuensi dan respons fase dalam domain waktu. Besarnya respon pada penelitian ini bergantung pada area ROI, sehingga tampak adanya fase pada titik tersebut. Pada puncak magnitudo yang diperoleh, pemrosesan deteksi fase menjadi penting, di mana variasi waktu yang dinamis mengindikasikan adanya aktivitas pernapasan manusia dan sebaliknya. Keluaran detektor fase melewati tahap pembukaan pembungkus dan pengurangan DC Offset. Lebih lanjut, penggunaan BPF berbeda dengan penelitian sebelumnya. BPF memiliki frekuensi cutoff 0.05-0.6 Hz, sesuai dengan rentang frekuensi pernapasan manusia. Langkah terakhir dari pemrosesan sinyal ini adalah mengubah sinyal fase domain waktu ke dalam domain frekuensi menggunakan FFT untuk mendapatkan laju pernapasan target.

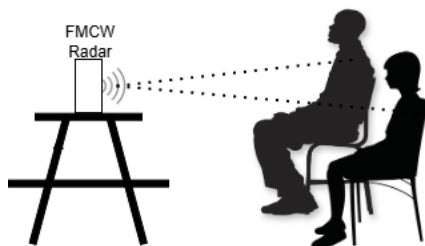


Gambar 2. Alur kerja metode yang diusulkan

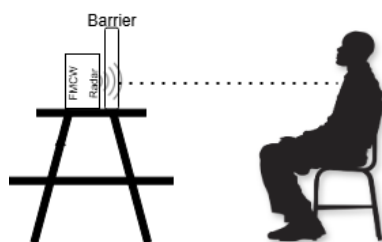
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Radar yang digunakan dalam percobaan laboratorium ini adalah 24 GHz dengan bandwidth 200 MHz, yang memiliki sinyal chirp 0,4 μ s dan 512 sekuens FFT. Ada dua skenario dalam percobaan ini. Skenario pertama menempatkan radar di depan dua target tanpa penghalang. Sebagai perbandingan, skenario kedua menempatkan penghalang tepat di depan radar dan target di belakang penghalang. Penghalang yang digunakan pada skenario kedua memiliki ketebalan 20 cm. Untuk mendukung pengambilan data, digunakan satu buah laptop yang diletakkan jauh dari area deteksi agar dapat dikendalikan dari jarak jauh, dan tidak mengganggu jalannya eksperimen.

Untuk setiap skenario, proses pengambilan data dilakukan secara terus menerus, direkam, dan dikumpulkan selama 2 menit untuk memastikan kestabilan dan konsistensi data yang diambil. Area target yang terdeteksi pada skenario kedua berada pada FFT ke-12 karena adanya pergeseran sinyal yang disebabkan oleh penghalang. Pada skenario pertama, jarak antara radar dengan target adalah 40 cm di depan radar, dan Target B berjarak 60 cm di depan radar. Sedangkan untuk skenario kedua, target Statis (penghalang) ditempatkan tepat di depan radar, dan target Non-statis berada 60 cm di belakang penghalang. Ilustrasi skenario ditunjukkan pada Gambar 3 untuk skenario pertama dan Gambar 4 untuk skenario kedua.



Gambar 3. Skema untuk skenario pertama



Gambar 4. Skema untuk skenario kedua

4.1. Respon Magnitudo

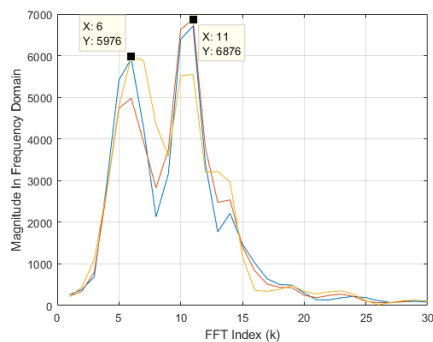
Respon magnitudo yang diperoleh dari kedua skenario ini ditunjukkan pada Gambar 5

dan Gambar 6. Gambar tersebut menunjukkan bahwa frekuensi puncak tertinggi pada respon magnitudo adalah target yang paling dekat dengan radar. Pada skenario pertama, terdapat dua puncak dengan ketinggian yang sama, yaitu puncak pertama pada FFT 5 dan puncak kedua pada FFT 11. Sedangkan untuk skenario kedua, terdapat dua puncak dengan ketinggian yang berbeda dimana indeks FFT 1-5 merupakan target statis atau penghalang, dan indeks FFT 6-16 merupakan area ROI dimana area ini ditentukan untuk menentukan keberadaan target di balik penghalang. Setelah mencari target di area ROI, target berada di FFT ke-12 dan sesuai dengan titik tertinggi kedua pada Gambar 4.

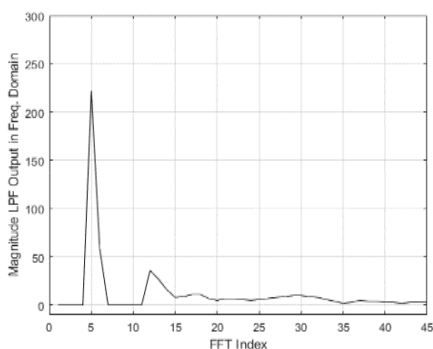
4.2. Respon Fasa

Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan hasil pemrosesan sinyal dari masing-masing respons besaran puncak dalam detektor fase. Pada skenario pertama, terdapat dua puncak yang keduanya memiliki pergerakan kecil pada detektor fase yang mengindikasikan aktivitas pernapasan manusia. Hasil ini menunjukkan bahwa Target A dan Target B yang terdeteksi pada percobaan ini merupakan target yang tidak statis karena memiliki pergerakan kecil yang disebabkan oleh aktivitas respirasi manusia.

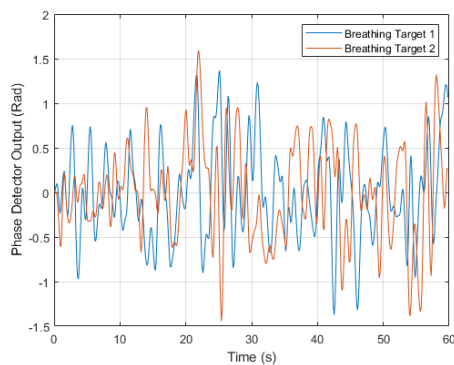
Untuk skenario kedua, terdapat juga dua sinyal puncak yang angka amplitudonya sangat berbeda, yang menandakan bahwa target yang terdeteksi memiliki perbedaan, yaitu statis dan non-statis. Setelah dimasukkan ke dalam deteksi fase, terdapat perbedaan antara kedua puncak tersebut. Puncak pertama dan tertinggi nyaris tidak ada pergerakan sedikit pun pada hasil detektor fase. Hasil ini mengindikasikan bahwa pantulan pertama adalah target statis, penghalang beton. Sementara itu, puncak kedua memiliki sedikit pergerakan, yang menunjukkan bahwa pada posisi tersebut terdapat target non-statis. Dengan demikian, analisis menunjukkan perbedaan antara target statis dan non-statis dengan pergerakan kecil akibat aktivitas pernapasan manusia.



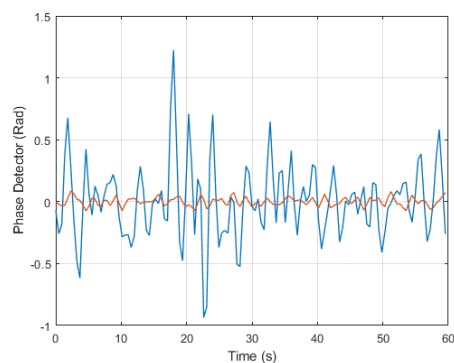
Gambar 5. Respon magnitudo untuk multitarget



Gambar 6. Respon magnitudo untuk statik dan non-statik Target



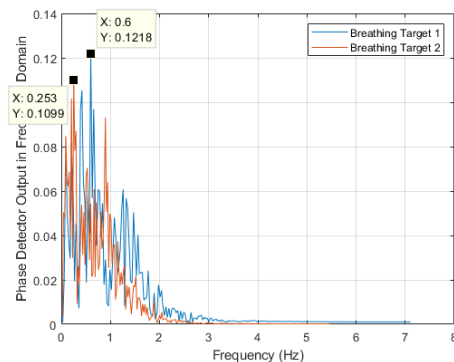
Gambar 7. Respon fasa untuk multitarget



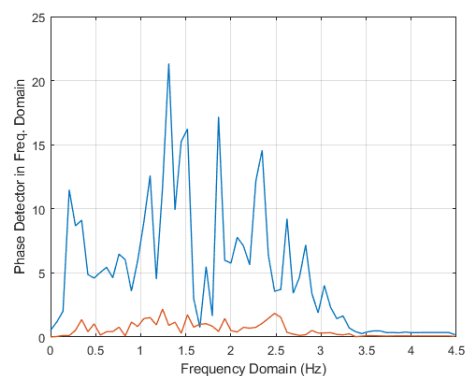
Gambar 8. Respon fasa untuk statik dan non-statik target

Gambar 9 dan 10 menunjukkan hasil detektor fase dalam domain frekuensi. Target A melakukan aktivitas respirasi yang dihitung secara langsung, yaitu 36 kali tarikan nafas, terlihat pada detektor fase domain frekuensi memiliki laju respirasi 0,6 Hz, yang dihitung memiliki 36 Rate Per Minute (RPM). Target B memiliki laju pernapasan 0,253 Hz, dengan perhitungan aktual pernapasan sebanyak 15 kali, dan kemudian RPM yang dihitung adalah 15 RPM. Kedua target ini dapat diidentifikasi dengan menganalisis spektrum frekuensi yang diperoleh dari output detektor fase, yang dapat dibedakan dari laju pernapasan.

Sedangkan untuk skenario kedua, pada target non-statis, laju respirasi adalah 0,5 Hz, di mana bila dihitung secara langsung, target non-statis bernapas sebanyak 30 kali, dan bila dihitung RPM-nya adalah 30 RPM. Hasil ini menunjukkan bahwa metode ini dapat mengidentifikasi aktivitas respirasi meskipun ada penghalang yang menutupi target. Laju aktivitas respirasi ini adalah kisaran yang digunakan untuk mendeteksi manusia, yaitu 0,2-0,8 Hz.



Gambar 9. Respon frekuensi untuk multitarget



Gambar 10. Respon frekuensi untuk statik dan non-statik target

Hasil dari percobaan ini adalah pada skenario pertama, kedua target dideteksi dengan perhitungan RPM, dengan aktivitas respirasi yang sebenarnya adalah sama, yaitu 36 kali untuk Target A dan 15 kali untuk Target B. Sedangkan untuk skenario kedua, target yang tidak statis adalah 30 kali aktivitas menghirup dan menghembuskan nafas atau aktivitas respirasi. Hasil lengkap dari perhitungan tersebut ditunjukkan pada Tabel 1 untuk skenario pertama dan Tabel 2 untuk skenario kedua.

Tabel 1. Perbandingan pendeteksian multitarget

Target	RPM	Hitungan asli	Breathing rate
Target A	36	36 kali	0.6 Hz
Target B	15	15 kali	0.253 Hz

Tabel 2. Perbandingan pendeteksian statik dan non-statik target

Target	RPM	Hitungan asli	Breathing rate
Non-statik	30	30 kali	0.5 Hz
Statik	0.1	0 kali	0.17 Hz

5. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian ini menggunakan Radar FMCW pada frekuensi 24 GHz dapat digunakan untuk mendeteksi aktivitas pernapasan manusia dalam skenario multi-target (*line of sight* (LOS) dan *non-line of sight* (NLOS)). Perubahan filter menggunakan BPF memberikan peningkatan yang lebih baik untuk pernapasan manusia. Pada skenario pertama, ketika mendeteksi setiap frekuensi denyut puncak untuk menentukan posisi aktivitas pernapasan manusia, aktivitas tersebut menyebabkan sedikit pergerakan. Sebaliknya, pada skenario kedua, tidak ada sedikit gerakan pada puncak tertinggi karena target yang terdeteksi bersifat statis.

Selain itu, sedikit pergerakan dapat disimpulkan sebagai aktivitas pernapasan manusia yang terdeteksi untuk puncak yang lebih rendah di belakangnya. Pada skenario kedua, puncak tertinggi disebabkan oleh penghalang karena radar secara langsung bertemu dengan penghalang. Hasil dari percobaan ini adalah pada skenario pertama, perhitungan RPM dengan aktivitas respirasi yang sebenarnya adalah sama, yaitu 36 kali

untuk Target A dan 15 kali untuk Target B. Sebagai kesimpulan, sistem radar ini dapat membedakan antara target yang statis dan tidak statis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Aloysius Adya Pamudita, S.T., M.T dari Telkom University atas dukungan dan bimbingannya selama menyelesaikan penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Zhao, Z. Zhang and W. Bao, "A High-precision Multi-target Vital Signs Detection Method Based on FMCW Radar," 2024 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Chengdu, China, 2024, pp. 1-8, doi: 10.1109/PIERS62282.2024.10618777.
- [2] W. Xue, R. Wang, L. Liu and D. Wu, "Accurate multitarget vital signs detection method for FMCW radar," 2023 Measurement, Vol. 223, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113715>.
- [3] Ramadhany, Q. H., Ali, E., & Pramudita, A. A. (2021). Surface Clutter Reduction for Ground Penetrating Radar. JMECS (Journal of Measurements, Electronics, Communications, and Systems), 8(2), 7-13.
- [4] Ramadhany, Q. H., Pramudita, A. A., & Suratman, F. Y. (2023, July). Clutter reduction in detecting trapped human respiration under rubble for fmcw radar system. In 2023 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA) (pp. 716-721). IEEE.
- [5] Yang, D., Zhu, Z., Zhang, J., & Liang, B. (2021). The Overview of Human Localization and Vital Sign Signal Measurement Using Handheld IR-UWB Through-Wall Radar. Sensors, 21(2), 402. <https://doi.org/10.3390/s21020402>.
- [6] Y. Emre Acar, I. Saritas and E. Yaldiz, "An experimental study: Detecting the respiration rates of multiple stationary human targets by stepped frequency continuous wave radar," 2021 Measurement, Vol. 167, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108268>.
- [7] A. R. Ramadhan, A. A. Pramudita and F. Y. Suratman, "Multi-Target Detection Method on FMCW Radar for Non-Contact Breathing Measurement," 2023 International Seminar on Intelligent Technology and Its

- Applications (ISITIA), Surabaya, Indonesia, 2023, pp. 710-715, doi: 10.1109/ISITIA59021.2023.10221140.
- [8] F. Shamsfakhr, D. Macii, L. Palopoli, M. Corra, A. Ferrari, and D. Fontanelli, "A multi-target detection and position tracking algorithm based on mmWave-FMCW radar data," 2024, *Measurement*, Vol. 234, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114797>.
 - [9] Y. Wahyu et al., "24 GHz FMCW Radar for Non-Contact Respiratory Detection," 2022 6th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE), Yogyakarta, Indonesia, 2022, pp. 752-755, doi: 10.1109/ICITISEE57756.2022.10057704.
 - [10] A. A. Pramudita et al., "Radar System for Detecting Respiration Vital Sign of Live Victim Behind the Wall," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 22, no. 15, pp. 14670-14685, 1 Aug.1, 2022, doi: 10.1109/JSEN.2022.3188165.
 - [11] Skolnik, M. I. (2008). *Radar handbook* (3rd ed.). McGraw-Hill.
 - [12] A. A. Dhiyani, A. A. Pramudita, Y. Wahyu, H. H. Ryanu, "Pemodelan Sistem Radar untuk Analisis Pengaruh Pakaian sebagai Obstacle Pendeteksian Pernapasan," 2022 *ELKOMNIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, Bandung, Indonesia, 2022, pp. 932-945, vol. 10, No. 4, doi: <http://dx.doi.org/10.26760/elkomika.v10i4.932>.
 - [13] A. A. Pramudita and F. Y. Suratman, "Low-Power Radar System for Noncontact Human Respiration Sensor," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 70, pp. 1-15, 2021, Art no. 4005415, doi: 10.1109/TIM.2021.3087839.
 - [14] H. Pratiwi et al., "Radar FMCW dengan IQ Demodulator Jamak untuk Deteksi Pernapasan pada Pengaruh Clutter," in *ELKOMNIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 8, No. 1, doi: <https://doi.org/10.26760/elkomika.v8i1.125>.
 - [15] D. Kurniawan, S. R. Sulistiyanti, and U. Murdika, "Sistem Pemantauan Kandungan Gas Karbon Monoksida (CO) dan Karbon Dioksida (CO₂) menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-135 Terintegrasi dengan Telegram," in *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, vol. 11, No. 2, doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v11i2.2963>.